

文章编号: 1000-5692(2006)01-0065-05

# 不同调控措施对杉木枯落物分解的影响

章志琴<sup>1</sup>, 林开敏<sup>2</sup>, 邹双全<sup>2</sup>, 曹光球<sup>2</sup>

(1. 上饶师范学院 生命科学系, 江西 上饶 334000; 2. 福建农林大学 林学院, 福建 福州 350004)

**摘要:** 针对杉木 *Cunninghamia lanceolata* 枯落物分解缓慢的问题, 研究不同的调控措施对杉木枯落物分解的影响。结果表明: 不同调控措施对杉木枯落物分解有一定的影响。埋置处理可加快杉木枯落物的分解, 叶和枝条枯落物第1年质量损失率分别达46.5%和32.0%, 分别比放置地表处理(对照)增加14.5%和38.5%; 外加不同形态的氮源对杉木叶枯落物的分解速率影响不同, 施加硝态氮可在一定程度上促进杉木枯落物的分解, 年质量损失率为46.0%, 比未施加氮肥处理(对照)增加13.3%, 而施加铵态氮仅为40.7%, 与对照接近。埋置地下和外加硝态氮源都能明显提高杉木枯落物腐解率, 缩短了枯落物完成50%和95%分解所需时间。表4参14

**关键词:** 森林培育学; 杉木; 枯落物; 分解速率; 放置方式; 外加氮源

**中图分类号:** S718.5      **文献标识码:** A

森林枯落物是森林生态系统中生产者的绿色植物光合作用产物的一部分, 也是森林归还养分的一个主要途径<sup>[1]</sup>。杉木 *Cunninghamia lanceolata* 是我国南方重要的速生用材树种, 在林业生产中具有举足轻重的作用<sup>[2]</sup>。然而由于多代连栽现象的加剧, 杉木人工林生态系统出现了比较严重的地力衰退现象, 一定程度上制约了杉木人工林可持续发展<sup>[3-6]</sup>。研究表明, 引起杉木人工林地力衰退的一个重要原因是杉木凋落物不易分解, 造成养分归还林地较少, 自肥能力差<sup>[4]</sup>。因而促进杉木枯落物分解, 加快养分归还速度, 已成为当前杉木人工林经营过程中亟待解决的一个重大的问题<sup>[7]</sup>。有鉴于此, 作者开展试验研究, 旨在探寻加快杉木枯落物分解的多种途径, 为解决杉木枯落物分解难的问题提供理论依据, 从而在实践中指导杉木人工林的经营管理。

## 1 试验地自然概况与研究方法

### 1.1 试验地自然概况

枯落物分解试验地位于福建农林大学南平校区后山西芹教学林场25年生杉木人工林内。该教学林场位于福建北部, 属杉木中心产区, 地理位置为26°40'N, 118°10'E, 属亚热带季风气候带, 雨水充沛, 气候温暖, 年平均气温为19.4℃, 年均降水量为1817mm, 多集中于5月和6月, 年均日照时数为1709.8h, 气候对杉木生产十分适宜。

收稿日期: 2005-04-18; 修回日期: 2005-06-14

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(B0310016)

作者简介: 章志琴, 硕士, 从事森林培育学研究。E-mail: zq219@163.com。通讯作者: 林开敏, 研究员, 博士, 从事人工林可持续经营研究。E-mail: lkm163.com@163.com

试验地坡度为 $25^{\circ}$ 左右, 坡面较平直。其主要成土母岩是沉积岩和变质岩, 土壤为黄红壤, 土层较厚, 土壤(0~5 cm)年均含水量为17.4%, 年均地表温度为 $17.2^{\circ}\text{C}$ ; 年均大气相对湿度为86.7%, 年平均气温为 $18.5^{\circ}\text{C}$ ; 物种繁多, 林下植物覆盖度为75%~80%, 乔木树种主要为25年生杉木, 林下植物种类较多, 主要有狗脊 *Woodwardia japonica*, 杜茎山 *Maesa japonica*, 三龙爪 *Ficus simplicissima*, 芒萁 *Dicranopteris diotoma*, 观音座莲 *Angiopteris fokiensis*, 芭麻 *Boehmeria nivea* 等。

## 1.2 研究方法

于2003年10月从福建农林大学南平校区后山收集新近凋落的杉木(含小枝条)枯落物, 将杉木叶从小枝上扯下, 分别置于 $65^{\circ}\text{C}$ 烘箱内烘干至恒量。然后取15 g 杉木枝、叶枯落物, 分别装入大小为 $20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$ , 网孔为 $1\text{ mm}^2$ 的尼龙网袋中。试验设计见表1。表1中外加硝态氮( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )为 $\text{NaNO}_3$ 溶液, 铵态氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )为 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 溶液, 质量浓度均为 $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 每月喷施1次, 每次 $50\text{ mL}\cdot\text{袋}^{-1}$ 。以上每个处理各30个重复。装袋后, 于2003年11月13日将所有样品袋布置到试验地。以后每2个月采样1次, 共采样6次, 每次每个处理随机取3袋, 仔细分开枯落物, 并去除杂物, 烘干至恒量后称量, 计算枯落物残留率和质量损失率。同时保存好分解样品留做养分分析。

表1 试验设计表

Table 1 Experiment design

处理	试验1(叶、枝)	试验2(叶)
对照	放置地表	对照(不外加氮)
处理1	埋置地下(10 cm)	$\text{NO}_3^--\text{N}$
处理2		$\text{NH}_4^+-\text{N}$

## 2 结果与分析

### 2.1 不同调控措施对杉木枯落物分解残留率及质量损失率的影响

2.1.1 不同放置方式对杉木凋落物残留率及质量损失率的影响 由表2可见, 埋置地下(10 cm)处理的杉木叶、枝枯落物的残留率、质量损失率以及每月质量损失率与地表放置的杉木枯落物(对照)都有较大差别。分解1 a后, 埋置地下的杉木叶、枝枯落物质量损失率均明显地高于对照组(放置地表), 且比对照分别提高了14.5%和38.5%。这与马祥庆<sup>[8]</sup>在福建尤溪的研究结果相接近。说明把杉木枯落物埋置地下可有效地促进它们的分解, 加快它们的养分归还速度, 有利于杉木人工林地力的维护和恢复。

表2 不同放置方式对杉木枯落物分解的影响

Table 2 The effect of different putting methods on decomposition of *Cunninghamia lanceolata* litter

处理	分解天数/d	残留率/%		质量损失率/%		每月质量损失率/%	
		叶	枝	叶	枝	叶	枝
放置地表 (对照)	0	100	100	0	0	0	0
	60	92.7	94.5	7.3	5.5	3.7	2.8
	120	89.2	91.3	10.8	8.7	1.8	1.6
	180	76.7	89.3	23.3	10.7	6.3	1.0
	240	72.8	82.7	27.2	17.3	2.0	3.3
	300	69.5	81.1	30.5	18.9	1.7	0.8
	360	59.4	76.9	40.6	23.1	5.1	2.1
埋置地下	0	100	100	0	0	0	0
	60	87.6	95.2	12.4	4.8	6.2	2.4
	120	81.5	91.8	18.5	8.2	3.1	1.7
	180	75.7	86.6	24.3	13.4	2.9	2.6
	240	70.0	78.7	30.0	21.3	2.9	4.0
	300	58.5	71.8	41.5	28.2	5.8	3.5
	360	53.5	68.0	46.5	32.0	2.5	1.9

### 2.1.2 外加不同形态的氮源对杉木叶枯落物分解残留率及质量损失率的影响 外加不同形态的氮源

对杉木叶枯落物的残留率、质量损失率以及每月质量损失率有较大的影响(表 3)。分解 1 a 后, 质量损失率表现为外加  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  源处理 > 外加  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  源处理约等于对照(不外加氮源), 其质量损失率分别为 46.0%, 40.7%, 40.6%。外加  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  源处理的杉木叶枯落物和对照的叶枯落物的年质量损失率接近, 表明外加  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  源对杉木枯落物分解基本没有促进作用; 而外加  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  对杉木枯落物的分解有促进作用, 年质量损失率比对照增加了 13.3%, 这与廖利平<sup>[9]</sup>的研究结果有异曲同工之处。通常认为, 高 C/N 比的枯落物中氮的可利用性会限制微生物的活动。因此, 当有外来氮源可供利用的时候, 会促进微生物的活动, 提高氮的矿化速率, 加速枯落物的分解。但并不是任何形式的氮源都有这种作用, 只有在施加  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  时才促进杉木叶枯落物的分解,  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  并没有这种效应。这可能是因为在杉木枯落物在分解过程中, 微生物优先利用  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  作为其生长发育所需的氮源而造成的<sup>[10]</sup>。因而对杉木叶枯落物施加  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  效果更明显。

由表 2 和表 3 还可看出, 杉木枯落物分解的质量损失率均呈现随分解的进行而逐渐上升的趋势, 但在分解过程中, 不同分解阶段的杉木枯落物月质量损失率有所不同。本实验所有处理的叶枯落物均在分解第 60 天时表现出较高的月质量损失率, 这可能是因为枯落物分解初始阶段易淋溶的养分物质含量较高引起的。另外放置地表和不喷施的 2 个对照杉木叶枯落物月质量损失率高峰出现在第 180 天(2004 年 5 月), 放置地表和埋置地下的枝枯落物高峰出现在第 240 天(2004 年 7 月), 而对杉木叶枯落物外加不同形态氮源的 2 种处理均出现在第 300 天(2004 年 9 月)。所

表 3 外加氮源对杉木叶枯落物分解的影响

Table 3 The effect of N treatments on decomposition of leaf litter

处理	分解天数/d	残留率/%	质量损失率/%	月质量损失率/%
不喷施(对照)	0	100	0	0
	60	92.7	7.3	3.7
	120	89.2	10.8	1.8
	180	76.7	23.3	6.3
	240	72.8	27.2	2.0
	300	69.5	30.5	1.7
	360	59.4	40.6	5.1
$\text{NO}_3^- \text{-N}$	0	100	0	0
	60	91.2	8.8	4.4
	120	86.9	13.1	2.2
	180	79.8	20.2	3.6
	240	70.4	29.6	4.7
	300	58.9	41.1	5.8
	360	54.0	46.0	2.5
$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	0	100	0	0
	60	92.9	7.1	3.6
	120	86.5	13.5	3.2
	180	80.3	19.7	3.1
	240	76.8	23.2	1.8
	300	63.9	36.1	6.5
	360	59.3	40.7	2.3

有处理月质量损失率高峰出现在温度适宜、水分较充足的 5~9 月, 但各处理出现的时间又有差异, 这说明枯落物的分解既受环境中的水热等条件影响, 又受其内部固有机控制<sup>[11]</sup>。

## 2.2 不同调控措施的杉木枯落物分解数学模型拟合及腐解率估算

Olson (1963) 提出用指数衰减模型估算枯落物的腐解率。该模型如下式:  $x_t/x_0 = e^{-kt}$ 。但在拟合过程中发现, 若将原始指数模型修改成下式:  $x_t/x_0 = ae^{-kt}$ , 将能得到更具准确的拟合方程<sup>[7]</sup>。其中:  $x_0$  为凋落物的初始质量;  $x_t$  为分解后时间  $t$  时的枯落物剩余质量;  $k$  为枯落物腐解率;  $a$  为参数。

利用此衰减模型对不同处理中的杉木枯落物分解进程进行拟合, 并估算出其腐解率(表 3)。从表 3 可看出, 拟合方程的相关系数  $R$  均达到显著或极显著水平, 这说明拟合效果良好。

从表 4 可以看出, 不同放置处理的叶枯落物腐解率有一定的差异。埋置地下的杉木叶、枝枯落物腐解率均高于放置地表的枯落物腐解率。从不同放置处理的枯落物完成 50% 和 95% 分解所需的时间来看, 叶枯落物表现出地表放置处理(1.47 a, 6.32 a) >> 埋置地下处理(1.13 a, 4.84 a); 枝枯落物也表现出地表放置处理(1.96 a, 8.27 a) >> 埋置地下处理(1.79 a, 7.52 a)。其中放置地表的杉木叶枯落

物分解周转期(一般地 95% 枯落物被分解所需的时间可用以表示枯落物的周转期<sup>[12]</sup>)比何宗明<sup>[13]</sup>在福建三明(尼龙网袋, 孔径 0.5 mm)所测得的时间(3.89 a)推迟 2.43 a, 比广西田林老山杉木林(8.80 a)提前 2.50 a<sup>[14]</sup>。可见, 在不同地区, 由于纬度和林分状况等的不同, 年均气温、年降水量、林内相对湿度、地表温度以及地力也随之不同, 枯落物分解快慢也有所差异。

从表 4 还可以看出, 外加  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  处理的叶枯落物腐解率( $0.0017 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )大于外加  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  处理( $0.0014 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ), 而外加  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  处理与对照的腐解率相接近; 从枯落物完成 50% 和 95% 分解所需的时间来看, 放置地表处理(1.47 a, 6.32 a) > 外加  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  源处理(1.39 a, 5.89 a) > 外加  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  源处理(1.16 a, 4.87 a)。

此外, 从年质量损失率、腐解率、完成 50% 以及完成 95% 分解所需的时间来看(表 3~4), 杉木叶枯落物分解明显比枝枯落物快, 然而杉木枯落物又是主要以带有小枝条的叶形式脱落归还林地, 小枝条占枯落物的较大比例(60%~70%), 因此, 这种独特的枯落物脱落方式可能是杉木枯落物分解慢的一个重要原因。

表 4 杉木枯落物在不同调控措施下的 Olson 指数模型及腐解率

Table 4 Olson exponential model and decomposition coefficients of litter in different control measures

处理	组分	Olson 指数模型	相关系数	腐解率/ $(\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1})$	50% 分解所需时间/a	95% 分解所需时间/a
放置地表	叶	$x_t = 1.0050e^{-0.0013t}$	-0.965	0.0013	1.47	6.32
	枝	$x_t = 1.0213e^{-0.0010t}$	-0.945	0.0010	1.96	8.27
埋置地下	叶	$x_t = 1.0010e^{-0.0017t}$	-0.955	0.0017	1.13	4.84
	枝	$x_t = 1.0260e^{-0.0011t}$	-0.966	0.0011	1.79	7.52
$\text{NO}_3^- \text{-N}$	叶	$x_t = 1.0270e^{-0.0017t}$	-0.972	0.0017	1.16	4.87
$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	叶	$x_t = 1.0155e^{-0.0014t}$	-0.935	0.0013	1.39	5.89

### 3 小结与讨论

不同调控措施对杉木枯落物分解有一定的影响。埋置地下处理可加快杉木枯落物的分解, 叶和枝枯落物第 1 年质量损失率分别达 46.5% 和 32.0%, 分别比放置地表处理增加 14.5% 和 38.5%; 外加不同形态的氮源对杉木叶枯落物的分解速率的影响不同, 施加  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  可在一定程度上促进杉木枯落物的分解, 年质量损失率为 46.0%, 比未施加氮肥处理增加 13.3%, 而施加  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  仅为 40.7%, 与未施加氮肥处理相接近。

杉木枯落物分解速率呈现明显的季节变化。各处理月质量损失率高峰均出现在温度适宜、水分较充足的 5~9 月份, 但出现的时间又有所差异, 说明枯落物的分解既受环境中的水热等条件影响, 又受其内部固有机控制。

不同调控措施对杉木枯落物分解腐解率、完成 50% 和完成 95% 分解所需时间有一定的影响。腐解率表现出埋置处理 > 地表放置处理以及外加  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  源处理 > 外加  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  源处理 > 不喷施处理, 而完成 50% 和完成 95% 分解所需时间则呈现相反的变化趋势。

本试验研究结果表明, 埋置处理和喷施  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  肥料可在一定程度上促进杉木枯落物的分解。因此, 从这个角度来考虑, 在杉木人工林经营过程中, 科技人员可以采取一些必要的营林措施, 改善和调控枯落物的分解环境, 促进杉木枯落物的分解, 可在一定程度上解决杉木人工林枯落物分解缓慢和杉木纯林多代连栽地力下降的现实问题。具体措施有: ① 保护杉木人工林下枯落物层, 适当对林地土壤进行翻耕, 将杉木枯落物埋入土中, 改善枯落物分解的温湿度环境, 加快枯落物的分解; ② 有条件的地方, 可以对杉木林地枯落物定期喷施氮肥, 其中  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  肥料效果更佳, 调节杉木枯落物的碳氮比(C/N), 促进微生物的繁殖生长, 来加快杉木枯落物的分解。

## 参考文献:

- [ 1 ] 王凤友. 森林凋落物量研究综述[ J ]. 生态学进展, 1989, 6 (2): 82—98.
- [ 2 ] 俞新妥. 中国杉木 90 年代的研究进展( I )杉木研究特点及有关基础研究的综述[ J ]. 福建林学院学报, 2000, 20 (1): 86—95.
- [ 3 ] 盛炜彤, 范少辉. 杉木及其人工林自身特性对长期立地生产力的影响[ J ]. 林业科学研究, 2002, 15 (6): 629—636.
- [ 4 ] 盛炜彤. 我国人工林的地力衰退及防治对策[ M ] //中国林学会森林生态学分会, 杉木人工林集约栽培研究专题组. 人工林地力衰退研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 15—19.
- [ 5 ] 中国林学会森林生态学分会. 森林生态学论坛[ M ]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 108—111.
- [ 6 ] 何光训. 连栽杉木林地土壤肥力退化的症结[ J ]. 浙江林学院学报, 2002, 19 (1): 100—103.
- [ 7 ] 俞新妥. 杉木林地持续利用问题的研究和看法[ J ]. 世界林业研究, 1993, 6 (3): 80—86.
- [ 8 ] 马祥庆, 刘爱琴, 何智英, 等. 杉木幼林生态系统凋落物及其分解作用研究[ J ]. 植物生态学报, 1997, 21 (6): 654—670.
- [ 9 ] 廖利平, 高洪, 汪思龙, 等. 外加氮源对杉木凋落物分解及土壤养分淋失的影响[ J ]. 植物生态学报, 2000, 24 (1): 34—39.
- [ 10 ] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[ M ]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 62—63.
- [ 11 ] 沈海龙, 丁宝永, 沈国舫. 樟子松人工林下阔叶凋落物分解动态[ J ]. 林业科学, 1996, 32 (5): 393—402.
- [ 12 ] 胡肄慧, 陈灵芝, 孔繁志, 等. 油松和栓皮栎枯叶分解作用的研究[ J ]. 植物学报, 1986, 28 (1): 102—110.
- [ 13 ] 何宗明, 陈光水, 刘剑斌, 等. 杉木林凋落物产量、分解率与储量的关系[ J ]. 应用与环境生物学报, 2003, 9 (4): 352—356.
- [ 14 ] 梁宏温. 田林老山中山杉木人工林凋落物及其分解作用的研究[ J ]. 林业科学, 1993, 29 (4): 355—359.

## Decomposition of *Cunninghamia lanceolata* litter with different control measures

ZHANG Zhi-qin<sup>1</sup>, LIN Kai-min<sup>2</sup>, ZOU Shuang-quan<sup>2</sup>, CAO Guang-qiu<sup>2</sup>

(1. Department of Life Sciences, Shangrao Normal College, Shangrao 334000, Jiangxi, China; 2. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350004, Fujian, China)

**Abstract:** Based on the fact that *Cunninghamia lanceolata* (Chinese fir) litter decomposes slowly, the effects of different control measures on the decomposition of Chinese fir litter were studied. The results implied that different control measures had different effects on the decomposition of Chinese fir litter. The burying of Chinese fir litter could quicken its decomposition. The mass loss ratios of leaves and branches were 46.5% and 32.0% respectively, 14.5% and 38.5% higher than those put on the ground. Different N fertilizers had different effects on the decomposition rate of Chinese fir litter. When applying  $\text{NO}_3^-$ -N, the annual mass loss ratio of Chinese fir litter was 46.0%, 13.3% higher than those without nitrogenous fertilizer (control group). While applying  $\text{NH}_4^+$ -N, the annual mass loss ratio was 40.7%, approximate to the control group. Burying under the ground and applying  $\text{NO}_3^-$ -N could significantly improved the decomposition rate of Chinese fir litter and shorten the decomposition time by 50% and 95% respectively. [Ch, 4 tab. 14 ref.]

**Key words:** silviculture; *Cunninghamia lanceolata*; litter; decomposition; way of placement; application of nitrogenous fertilizer